

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift  
⑩ DE 195 11 926 A 1

⑤ Int. Cl.®:  
G 01 M 11/08  
G 01 J 3/45  
G 01 B 9/021

⑳ Aktenzeichen: 195 11 926.8  
㉑ Anmeldetag: 31. 3. 95  
㉒ Offenlegungstag: 2. 10. 98

DE 195 11 926 A 1

㉗ Anmelder:  
Schwider, Johannes, Prof. Dr., 91058 Erlangen, DE

㉘ Erfinder:  
gleich Anmelder

⑥ Verfahren zur Prüfung technischer Oberflächen mit Hilfe von computererzeugten Hologrammen

⑤ Es wird ein Verfahren zur Prüfung von technischen Oberflächen vorgeschlagen, bei dem Computer-erzeugte Beugungsmasken sowohl als Strahlteiler bzw. Vereiniger eingesetzt werden und diese Masken Wellenfelder generieren, die an die Makrogeometrie optimal angepaßt sind und gleichzeitig eine Referenzwelle (z. B. die ungebeugte Welle nullter Ordnung) liefern. Dabei werden die Wellen über das Objekt so geführt, daß die Rauigkeit der technischen Oberfläche durch schrägen Einfall in ihrem Einfluß auf die Wellenfläche stark gemindert wird. Dadurch wird erreicht, daß die Interferenzbilder nur noch die Abweichungen von der Makroform anzeigen. Als Objekte sind solche besonders geeignet, die hauptsächlich in einer Dimension ausgedehnt sind, wie z. B. stückweise ebene Flächen oder Zylinder bzw. Kombinationsformen davon in an sich beliebiger Verknüpfung. In wesentlichen Sonderfällen sind die Interferometrischen Anordnungen so gestaltet, daß sich eine unmittelbare Kontrolle des leeren Interferometers ergibt.

DE 195 11 926 A 1

1  
Beschreibung

### Stand der Technik

Zum Stand der Technik ist zu sagen, daß sich der Einsatz der interferometrischen Meßtechnik zur Prüfung der Makrogeometrie meist auf die Prüfung optischer Flächen mit hoher Genauigkeit beschränkt. Zwar werden technische Planflächen wie z. B. Si-wafer und andere Planflächen schon mit streifender Inzidenz geprüft. Diese Verfahren beschränken sich aber auf plane Flächen. Hier setzt aber unser Ansatz an, indem beliebige aber regelmäßige Oberflächen einer Messung mit hoher Genauigkeit zugänglich gemacht werden sollen

### Ausführungsbeispiel

Es handelt sich um ein interferometrisches Prüfverfahren für technische Oberflächen mit verschiedenartigen Profilen und Geometrien, das mit synthetischen diffraktiven Referenzmasken (Computer Generierte Hologramme: CGH) arbeitet. Hierbei soll der Einsatz von Computer Generierten Hologrammen eine schnelle und berührungsfreie Absolutprüfung der Makrogeometrie technischer Werkstücke ermöglichen.

An einem Ausführungsbeispiel soll der Einsatz neuartiger computer-erzeugter Masken in IR-Interferometern zur 3D-Profilmessung erläutert werden. Die computer-erzeugten Masken oder Hologramme (CGH) beinhalten hierbei die Information über ein Referenzobjekt. Das Werkstück soll dann in dem Interferometer mit dieser Referenz verglichen werden. Es werden also die Abweichungen des Werkstücks von der Sollform in 3D-Qualität mit extrem hoher Meßgeschwindigkeit und Genauigkeit erfaßt.

Insbesondere wird auch daran gedacht von einer CAD-erzeugten Struktur jeweils ein oder mehrere CGH's in ein IR-Interferometer einzubringen.

Das interferometrische Prinzip beruht auf der "grazing incidence interferometry" (streifende Inzidenz) (Fig. 1). Die dabei verwendeten CGH's wirken als Strahlenteiler und Vereiniger. Die Nullte Beugungsordnung des Strahlenteilers läuft unbeeinflusst von diesem in der ursprünglichen Richtung weiter. Eine der gebeugten Wellen trifft streifend auf das Werkstück und wird dort reflektiert und schließlich am Ort eines zweiten CGH's mit der nullten Ordnung überlagert. Die CGH's sind derart gestaltet, daß sie an das Objekt angepaßte Wellenfronten generieren, die zusammen mit dem zweiten CGH einen Nulltest ermöglichen. Dabei ist eine spatiale Filterung vonnöten, um Störlicht zu beseitigen, oder mit anderen Worten: die üblichen kohärentoptischen Techniken sind sinngemäß auf dieses Problem anzuwenden. Wie in Fig. 1 angedeutet, lassen sich auch komplexe Oberflächenstrukturen untersuchen. Im einfachsten Falle hat dabei das Objekt einen gleichartigen Querschnitt über die gesamte Länge.

In diesem Fall sind durch die Beschränkung der Dimensionalität die Justierprobleme am geringsten. Jedoch lassen sich auch komplexere Geometrien mit einer solchen Methode vermessen. Allerdings muß man eventuelle Abschattungen und ähnliche Probleme beim Design der CGH's berücksichtigen. Dabei ist auch denkbar, daß senkrechte Flächenstücke mit erfaßt werden.

Noch ein Wort zur Genauigkeit und der freien Parameterwahl beim Entwurf des computererzeugten Hologramms. Das soll an dem einfachsten Fall einer ebenen

2  
Fläche behandelt werden:  
Ein Gitter beugt eine ebene Welle um den Winkel  $\mu$ :

$$g \sin(u) = m\lambda$$

Bei schräger Inzidenz unter dem Winkel  $u$  ergibt sich eine Empfindlichkeit von

$$\frac{\lambda}{2} \cos(90^\circ - u) = \frac{\lambda}{2} \sin u$$

Mithin korrespondiert der Abstand zweier Interferenzstreifen mit einer Oberflächenabweichung von:

$$\frac{g}{2m}$$

wobei man im allgemeinen sich mit  $m = 1$  begnügen und nur in Sonderfällen eine höhere Beugungsordnung verwenden wird. Man hat also in weiten Grenzen die Empfindlichkeit durch die Wahl der Gitterkonstanten in der Hand.

Man bezahlt allerdings geringe Empfindlichkeit (große Rauigkeiten des Objekts bei der Prüfung) mit starken anamorphotischen Verzerrungen der Geometrie in einer Richtung. Dazu soll nun ein Beispiel folgen:  $g = 50 \mu\text{m}$ ,  $\lambda = 3.4 \mu\text{m}$  ergibt einen Streifen für  $25 \mu\text{m}$  Oberflächenabweichung und einen Winkel von  $86^\circ$ , was bei einer Werkstücklänge von  $0.5 \text{ m}$  eine Bildhöhe von  $34 \text{ mm}$  bedeutet. Hier wird man also im Abbildungsstrahlengang mit anamorphotischen Lösungen eine Anpassung an den Detektor suchen bzw. über eine Entzerrung durch entsprechende Software eine vernünftige Bildgeometrie erzeugen. Bei optoelektronischen Lösungen bei der Auswertung sind ohne weiteres  $1150$  Streifenabstand rms-Genauigkeiten zu erwarten, weshalb die Makrogeometrie im  $\mu\text{m}$ -Bereich erfaßbar ist.

Die Flexibilität des Verfahrens soll an einem einprägsamen Beispiel erläutert werden: Es soll ein Zylinder innen und außen gleichzeitig geprüft werden. In diesem Fall wird man zwei Axicons (das sind rotations-symmetrische CGH's mit äquidistanten Ringzonen) verwenden und die beiden ersten Beugungsordnungen zur Beleuchtung der Objektoberflächen einsetzen. Man erhält dann neben der Rundheit und anderen Oberflächenfehlern auch Aussagen über die relative Lage der Symmetrieachsen.

Noch eine Bemerkung zur Wahl der Wellenlänge: Für raue Flächen sollte die Wellenlänge möglichst groß sein, um die Makrogeometrie trotzdem prüfen zu können.

Jedoch ist die Rauigkeit der Oberfläche des Prüflings nicht das einzige Argument für eine Vergrößerung der Wellenlänge zumal die Genauigkeit nur von der lokalen Gitterkonstanten im CGH abhängt. Vielmehr kann man durch eine größere Wellenlänge bei gleichbleibender Empfindlichkeit eine Herabsetzung der anamorphotischen Verzerrung erreichen. Durch eine größere Flexibilität in der Wahl der Wellenlänge läßt sich der Anwendungsbereich bedeutend erweitern.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur interferometrischen Prüfung von technischen Oberflächen dadurch gekennzeichnet, daß das Licht einer kohärenten Lichtquelle ein

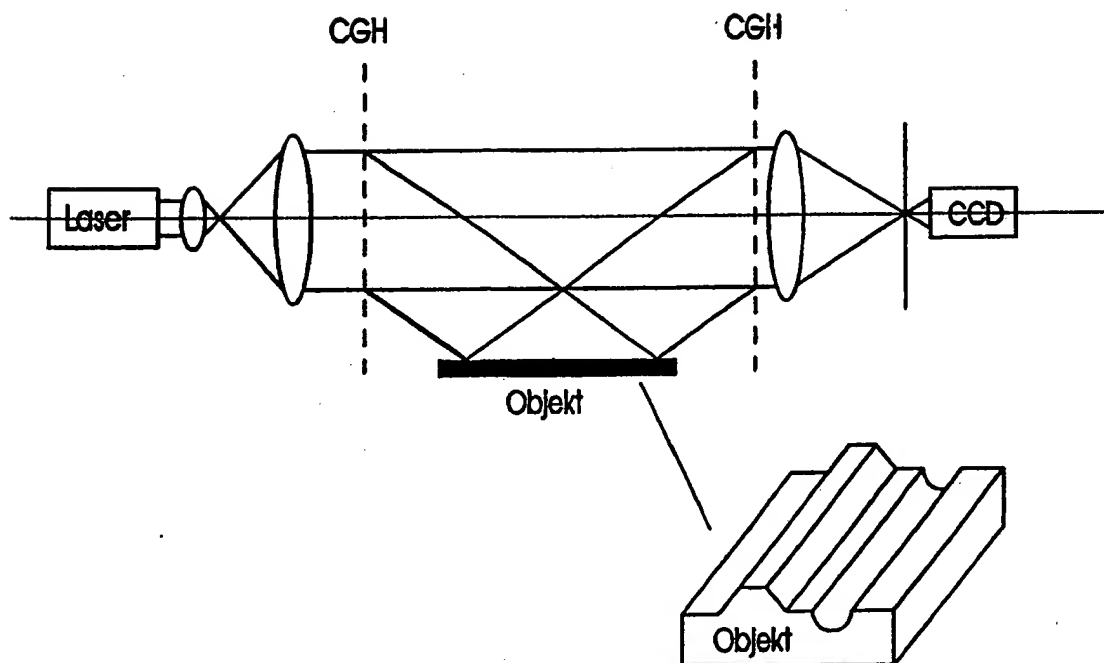


Fig. 1: Ausführungsbeispiel

## **Procedure for testing of technical surfaces using computer-generated holograms.**

A procedure for testing of technical surfaces with computer-generated diffraction masks used as beam splitters as well as beam combiners is suggested. The diffraction masks generate wave fronts, optimized (in size) to match the macro geometry (object), while providing a reference wave front (e.g. non-diffracted zero order wave front) at the same time. The wave fronts strike the object at oblique incidence, thus significantly reducing the influence of the object's surface roughness on the wave front. The resulting interferograms indicate only the deviation from the macro form. Best suitable objects are long, with flat or cylindrical surfaces or any arbitrary combination of those. For special implementations, the interferometer wave fronts are arranged in a way, that direct calibration of the empty interferometer is possible.